

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

**Avaliação da Sustentabilidade na Relação de Uso e Manejo das Terras
através de Sistemas Especialistas**

**Aluno: André Thiago de Souza Lanzer
Orientador: José Leomar Todesco**

Florianópolis - Santa Catarina - Brasil

1998

Índice

Lista de Figuras.....	iii
Lista de Tabelas.....	iv
Lista de Quadros.....	vi
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Considerações Iniciais.....	1
1.2. Objetivo.....	5
1.3. Estrutura do Trabalho.....	5
2. Material e Métodos.....	6
2.1. O Sistema de Avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997).....	6
2.2. Sistemas Especialistas.....	23
2.2.1. Avaliação.....	28
2.2.2. Aquisição do Conhecimento.....	28
2.2.3. 'Design'.....	28
2.2.4. Teste.....	28
2.2.5. Documentação.....	29
2.2.6. Manutenção.....	29
2.2.7. Ferramentas Utilizadas.....	29

3. O Sistema AGOSTINI.....	30
3.1. Desenvolvimento do Sistema Especialista Utilizando a “Shell” KAPPA-PC.....	30
3.2. Fases no Desenvolvimento do Sistema: Avaliação, Aquisição do Conhecimento e ‘Design’.....	31
3.3. Aspectos Técnicos da Construção do Aplicativo.....	33
4. Resultados e Discussão.....	41
5. Conclusões e Recomendações.....	44
5.1. Aspectos Específicos.....	44
5.2. Aspectos Gerais.....	45
6. Referências Bibliográficas.....	48
Anexo A: Tutorial.....	52

Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama do Fluxo de Informações Utilizadas do Sistema de Avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997).....	7
Figura 2: Estrutura de um SE.....	25
Figura 3: Estrutura de uma regra.....	25
Figura 4: Exemplo de uma estrutura hierárquica.....	27
Figura 5: Modelo de regras para o sistema desenvolvido.....	38
Figura 6: Tela inicial (Intro) do aplicativo.....	52
Figura 7: Quadro de registro da 'situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo'	53
Figura 8: Quadro de registro da 'situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio'	54
Figura 9: Textos explicativos para as categorias da relação de uso.....	55

Lista de Tabelas

Tabela 1: Alternativas da opção mecanização com respectivas entropias...	9
Tabela 2: Alternativas da opção presença de cobertura vegetal com respectivas entropias.....	9
Tabela 3: Alternativas da opção diversidade de cobertura vegetal com respectivas entropias.....	10
Tabela 4: Alternativas da opção controle do escoamento superficial com respectivas entropias.....	10
Tabela 5: Alternativas da opção sementes e fertilizantes com respectivas entropias.....	11
Tabela 6: Alternativas da opção quantidade de agrotóxicos com respectivas entropias.....	12
Tabela 7: Alternativas da opção manipulação de agrotóxicos com respectivas entropias.....	12
Tabela 8: Alternativas da opção potencial de poluição das águas com respectivas entropias.....	13
Tabela 9: Peso dos critérios segundo o custo entrópico médio do processo produtivo.....	14
Tabela 10: Alternativas da opção quantidade de Cálcio mais Magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$).....	18
Tabela 11: Alternativas da opção Fósforo “extraível”.....	18
Tabela 12: Alternativas da opção horizonte diagnóstico superficial.....	18
Tabela 13: Alternativas da opção pedregosidade.....	19
Tabela 14: Alternativas da opção drenagem.....	19
Tabela 15: Enquadramento das relações de uso em classes de uso preferencial.....	21
Tabela 16: Categoria da relação entre homem e meio ambiente	

segundo a classe desta relação.....	22
Tabela 17: Alguns sistemas especialistas já desenvolvidos para a agricultura.....	24
Tabela 18: Número de regras para cada módulo.....	34

Lista de Quadros

Quadro 1: Registro da situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo.....	8
Quadro 2: Registro da situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio.....	17
Quadro 3: Exemplo de regras (traduzidas) para o sistema desenvolvido....	39

Resumo

Foi criado um sistema de auxílio à avaliação da relação de uso e manejo das terras desenvolvida por D'Agostini & Schlindwein (1997) com a utilização de sistemas especialistas, uma técnica da inteligência artificial. Os sistemas especialistas foram destinados a orientar o usuário na escolha das alternativas disponíveis do sistema de avaliação. O sistema pretende ser uma ferramenta de auxílio aos serviços de extensão rural tendo em vista o pequeno quadro de técnicos especialistas disponíveis para orientar os técnicos de campo. Os sistemas especialistas, de um modo geral, podem auxiliar em atividades em que haja um conhecimento disperso e freqüentemente utilizado como uma forma de concentrá-lo. Também podem ser úteis no treinamento e acompanhamento a campo dos técnicos. Utilizou-se a "shell" KAPPA-PC como uma ferramenta de auxílio ao desenvolvimento de sistemas especialistas. O uso desta "shell" facilitou bastante a programação da base de conhecimento e o desenvolvimento da interface com o usuário. Um tutorial do sistema desenvolvido encontra-se neste trabalho.

Abstract

Expert systems, an artificial intelligence technique, was used to develop a software to help the evaluation of land use and management's relation developed by D'Agostini & Schlindwein (1997). The expert systems were destined to help the user in the choice of the available alternatives of the evaluation system. The software aims to be a tool to the rural extension services because of the small number of specialists to advise field technicians. The expert systems may be useful in activities where the knowledge is sparse and frequently used as a way to concentrate it. They also may be useful in the training and field accompaniment of technicians. The shell KAPPA-PC was used to develop the software. This shell helped mostly in the knowledge base and user interface developments. A tutorial of the software is presented in this work.

1. Introdução

1.1. Considerações Iniciais

Com base na declaração do relatório “Nosso Futuro Comum” de Brundtland (1987) de que o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades, é lógico pensarmos que a boa relação entre o homem e o meio ambiente é fundamental para garantirmos às futuras gerações a mesma disponibilidade de recursos de que dispomos atualmente. Fazer um bom uso do meio é, portanto, fundamental à continuidade do tipo de uso que lhe damos. Para isso, é necessário avaliarmos a relação que o homem mantém com este a fim de melhor podermos orientá-lo em suas práticas.

Na agricultura é onde encontramos maior significação da relação entre o homem e o meio ambiente. Sendo nossa principal fonte terrestre de alimentos, é na agricultura que devemos nos ater com maiores cuidados em relação ao meio ambiente, pois práticas de uso e manejo inadequadas podem resultar em sérios danos a este. Convém ressaltar que devemos conservar nossos recursos naturais para assim podermos usufruir deles melhor a longo prazo, e o principal recurso natural (e que também é renovável) que está envolvido é o solo. O solo agriculturável, segundo Bellia (1996), é um bem dificilmente renovável, visto que sua reprodução

integral não é facilmente conseguida após este ter se perdido através da erosão, por exemplo. Assim sendo, conservar o solo é fundamental à manutenção da capacidade produtiva do mesmo e à perpetuação dos usos que se dão a ele. Desta forma, uma prática de uso e manejo do solo, tal como o plantio de uma determinada safra, por mais necessária que seja para a economia e para o consumidor, pode ser extremamente danosa para o meio ambiente se conduzida de uma forma agressiva. E isto significa que a mesma condução inadequada de uma determinada prática de uso e manejo pode vir a exaurir o solo e portanto trazer o fim desta prática em uma determinada área, e isto não é desejável para a produção como um todo. A questão do manejo sustentável do solo na agricultura, tanto por aspectos relacionados às características dos solos mas também por aspectos relacionados às formas de preservá-lo em localidades específicas está tratado em Resende (1997).

O problema do estudo em questão reside no manejo adequado da propriedade rural, principalmente nas formas de avaliar-se o quanto o uso dado a uma porção de terra (gleba) é sustentável frente ao meio ambiente e frente às formas de condução da prática adotada nesta gleba. Diversos são os aspectos que podem ser levados em consideração no manejo de uma propriedade, tais como o uso de agrotóxicos, o controle do escoamento superficial decorrente das águas pluviais (com efeito direto sobre a erosão do solo), a cobertura vegetal e as características do meio, entre outros.

D'Agostini & Schlindwein (1997) desenvolveram um método de avaliação da relação de uso e manejo das terras com um enfoque sustentável, considerando os aspectos relacionados no parágrafo anterior. Seu método, apesar de ser mais

complexo que outros métodos tais como o de Uberti et al (1991) e o de Ramalho Filho et al (1978), apresenta a grande vantagem de não pré-determinar o uso de uma determinada gleba com base em suas características ambientais e, no caso do sistema de Ramalho Filho et al (1978), também com base no nível tecnológico (para uma visão geral da problemática da avaliação de solos remetemos o leitor à Rossiter (1998)). No entanto, seu método necessita de um técnico agrícola especializado para a execução do mesmo. Neste contexto, sistemas especialistas podem ser uma ferramenta de auxílio à solução do problema, que é dinamizar a avaliação das terras agriculturáveis.

O trabalho de D'Agostini & Schlindwein (1997) baseia-se em dados aplicáveis ao Estado de Santa Catarina. Por exemplo, os tipos de solos reconhecidos pelos autores são típicos deste estado. Portanto, se há o desejo de utilizar-se o sistema em outros estados que não este será necessário alterar-se a base de dados do sistema dos autores, que creio somente poder ser efetuada por eles mesmos. A quem interessar possa, os autores, no presente ano, são professores da Faculdade de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Creio que fornecendo este endereço facilita-se a sua localização para quem desejar maiores informações. Recomendo ao leitor verificar o item 2.1 do presente trabalho antes de ir conversar com eles.

Assim, desenvolvendo um sistema de auxílio à avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997) com o uso de sistemas especialistas é possível facilitar a aplicação do método, que pode inclusive ser conduzido pelos próprios agricultores

(considere-se este aspecto visto o pequeno número de técnicos agrícolas disponíveis para os produtores rurais). Por outro lado, comparando-se um sistema deste tipo com a execução manual do mesmo, acelera-se o processo de avaliação que, se conduzido por um técnico agrícola, pode ser efetuado em um número maior de vezes.

Outro aspecto a ser considerado é o de que o conhecimento técnico sobre o sistema se tornará desnecessário, uma vez que este se encontrará dentro do mesmo. Não será necessário que o técnico responsável pela avaliação conheça os termos presentes nesta, já que através das questões a serem realizadas o sistema depreenderá tais termos.

A questão da difusão do conhecimento técnico através dos serviços de extensão é complexa no setor agropecuário, sobretudo em Santa Catarina. No caso deste estado a agricultura se caracteriza por um grande número de pequenas propriedades com produção diversificada. Assim, freqüentemente um extensionista deve atender uma clientela grande (2 a 3 mil agricultores), geograficamente dispersa e com uma variada gama de problemas, para muitos dos quais ele não possui especialização. Embora o sistema oficial de extensão de Santa Catarina tenha especialistas em diversas áreas de conhecimento, eles estão concentrados na sede (Florianópolis) e não conseguem atender a demanda “on line”. Neste contexto, o uso de sistemas especialistas parece muito promissor para elevar a eficácia dos serviços de extensão locais.

Também deve-se levar em consideração a face tutorial do sistema, uma vez que a difusão do conhecimento será facilitada. O conhecimento, para o técnico

carente, encontrar-se-á acessível através da utilização do mesmo: observando ele resolver situações reais e hipotéticas será possível deduzir sua lógica e assim aprender através dos resultados obtidos.

1.2. Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é o de desenvolver um aplicativo para apoiar os serviços de extensão de Santa Catarina no que se refere a avaliações especializadas para o uso do solo compatíveis com a meta do desenvolvimento agrícola sustentável. Neste sentido, a meta deste trabalho é facilitar a aplicação da avaliação da relação de uso e manejo das terras usada.

Os objetivos específicos deste trabalho são manter a produção agrícola levando-se em conta uma maior preservação do meio ambiente e, quem sabe, aumentá-la a longo prazo, o que imagina-se ser possível através do desenvolvimento sustentável. Também tem-se como objetivo a redução do tempo necessário à avaliação da relação de uso e manejo das terras, aumentando o número de atendimentos possíveis pelos técnicos agrícolas.

1.3. Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 faz a introdução e estabelece os objetivos do trabalho. No capítulo 2, Material e Métodos, discute-se brevemente o sistema de avaliação da relação de uso e manejo das terras de D'Agostini & Schlindwein (1997) e sistemas

especialistas. No capítulo 3, O Sistema AGOSTINI, são apresentados a “shell” KAPPA-PC e os aspectos técnicos da construção do sistema de auxílio. No capítulo 4, Resultados e Discussão, são apresentados os resultados obtidos com o sistema desenvolvido. Finalmente, no capítulo 5 apresentam-se as conclusões, limitações e sugestões do trabalho.

2. Material e Métodos

2.1. O Sistema de Avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997)

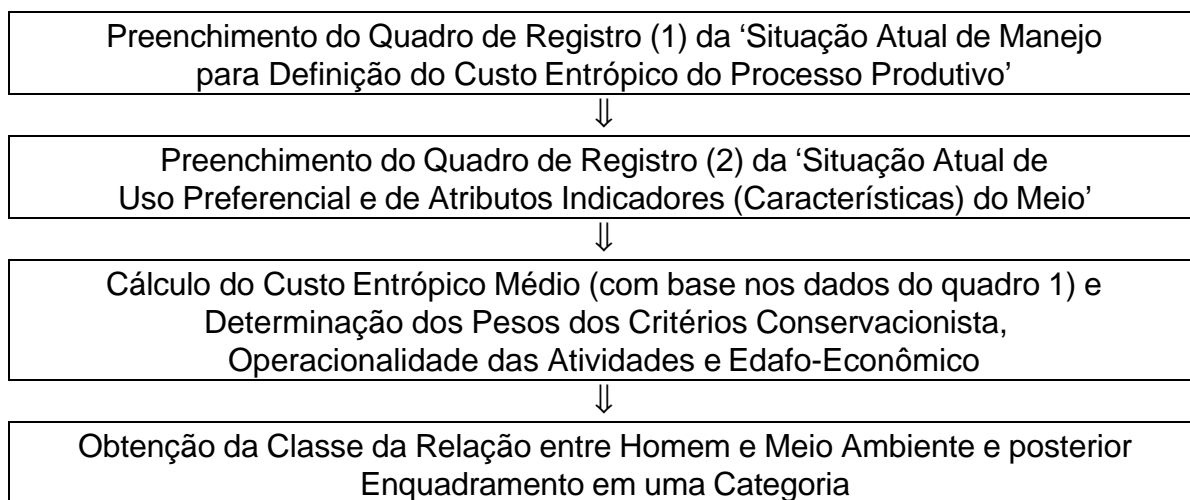
A aplicação do método de D'Agostini & Schlindwein (1997) é relativamente complexa e requer um técnico agrícola bem treinado nos mais diversos aspectos de que trata-se o sistema de avaliação. É com este intuito, o de melhorar a capacitação do técnico envolvido com o sistema de avaliação e auxiliar em seu treinamento e possivelmente apoiá-lo a campo, que propõe-se utilizar sistemas especialistas como uma forma de atingir este objetivo. Sistemas especialistas são programas de computador que contém o conhecimento de um especialista em uma determinada área do conhecimento, chamada de domínio (Durkin, 1994). Como há vários campos¹ a serem preenchidos no sistema de avaliação propõe-se que para cada campo em que houverem opções a serem escolhidas haja um pequeno sistema especialista para auxiliar o técnico.

O sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997) pretende ser utilizado no contexto de microbacias hidrográficas no sentido de auxiliar no

planejamento de uso da terra. Com finalidade semelhante já foram utilizados métodos de decisão multicritério (Mello Filho & Da Rocha, 1994).

O sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997) pode ser visto como sendo composto basicamente por dois quadros de registro e por uma tabela da qual, através de uma conta aritmética, obtém-se a classe (com sua correspondente categoria) da gleba avaliada com base na opção de uso preferencial que lhe é dada. A categoria expressa o grau de sustentabilidade da relação entre o homem e o meio ambiente. Um diagrama do fluxo de informações encontra-se na figura 1.

Figura 1: Diagrama do Fluxo de Informações Utilizadas do Sistema de Avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997)



Através do preenchimento do quadro de registro da 'situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo' (quadro 1) obtém-se

¹campo: cada questão ou aspecto considerado

valores de entropia (entre 1 e 5) para cada opção (mecanização, presença e diversidade da cobertura vegetal, controle do escoamento, sementes e fertilizantes, quantidade e manipulação de agrotóxicos, e potencial de poluição das águas). As alternativas possíveis para cada opção, extraídas de D'Agostini & Schlindwein (1997), encontram-se nas tabelas 1 a 8.

Quadro 1: Registro da situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo

MODALIDADE DAS AÇÕES (Qualidade do Manejo)		NÚMERO DA GLEBA									
MANEJO DO MEIO											
MECANIZAÇÃO											
Sem mecanização											
Animal	Mínima										
	Intensa										
Motorizada	Mínima										
	Intensa										
COBERTURA VEGETAL											
Presença	Ampla										
	Boa										
	Satisfatória										
	Insatisfatória										
Diversidade	Rotação										
	Consoiciada										
	Sucessão										
	Monocultivo										
CONTROLE DO ESCOAMENTO											
	Amplo										
	Eficaz										
	Insuficiente										
	Inadequado										
	Inexistente										
MANEJO DE INSUMOS											
SEMENTES E FERTILIZANTES											
	Elementares										
	Da propr., com tratamento										
	Da propr., sem tratamento										
	Combinados										
	Do mercado										
AGROTÓXICOS											

Quantidade	Não aplica									
	Moderada									
	Elevada									
	Muito elevada									
Manipulação	Boa									
	Tolerável									
	Ruim									
POTENCIAL POLUIÇÃO DAS ÁGUAS										
	Não significativo									
	Moderado									
	Elevado									
	Muito elevado									

Tabela 1: Alternativas da opção mecanização com respectivas entropias

Alternativa	Entropia	Explicação
Sem Mecanização	1	
Tração Animal Mínima	2	É caracterizada, por exemplo, pela abertura de um sulco no solo sob cobertura vegetal para facilitar a semeadura.
Tração Animal Intensa	3	Preparo convencional do solo (aração, gradagem).
Tração Motorizada Mínima	4	Semeadura sem o revolvimento intenso do solo (ex.: plantio direto).
Tração Motorizada Intensa	5	Preparo convencional do solo (aração, gradagem).

Tabela 2: Alternativas da opção presença de cobertura vegetal com respectivas entropias

Alternativa	Entropia	Explicação
Ampla	1	Quando o solo permanece efetivamente coberto durante todo o ano.
Boa	2	A cobertura varia de intensidade ao longo do ano, mas é planejada de forma a garantir proteção ao solo, especialmente em épocas de chuvas intensas.

Satisfatória	3	Quando o sistema de cultivo permite a permanência dos restos culturais sobre a superfície do solo, durante os períodos entre cultivos. Essa condição normalmente está associada à mecanização reduzida, como no caso do plantio direto motorizado.
Insatisfatória	5	A cobertura do solo é temporária e decorre exclusivamente das características do ciclo vegetativo da opção de uso preferencial. Normalmente esta condição está associada ao preparo convencional do solo.

Tabela 3: Alternativas da opção diversidade de cobertura vegetal com respectivas entropias

Alternativa	Entropia	Explicação
Rotação	1	A seqüência de culturas visando sustentar a capacidade produtiva do meio é planejada.
Consórcio	2	Quando o sistema procura explorar as características benéficas complementares entre as espécies vegetais.
Sucessão	3	A diversidade da cobertura do solo decorre da opção de uso preferencial e está ligada exclusivamente à sazonalidade do clima.
Monocultivo	4	Quando por iniciativa do produtor rural só há uma espécie presente no meio (nessa condição também se enquadra a pastagem nativa, apesar das várias espécies de gramíneas provavelmente presentes).

Tabela 4: Alternativas da opção controle do escoamento superficial com respectivas entropias

Alternativa	Entropia	Explicação
Amplo	1	Situação em que normalmente não se observa qualquer escoamento superficial.
Eficaz	2	Situação em que o escoamento superficial só é observado em condições de chuvas intensas, e mesmo quando ocorre não há riscos maiores de erosão.
Insuficiente	3	Situação em que o escoamento superficial é observado com frequência, com ocorrência de erosão.
Inadequado	4	Situação em que o escoamento superficial é significativo em função de práticas mal conduzidas em seu controle.
Inexistente	5	Quando não há qualquer preocupação em controlar o escoamento superficial.

Tabela 5: Alternativas da opção sementes e fertilizantes com respectivas entropias

Alternativa	Entropia	Explicação
Elementares	1	Mesmo que possa haver preocupação com a manutenção da capacidade produtiva do solo (manifestada em ações de manejo de plantas, combate à erosão, etc.), não ocorre aporte de nutrientes de fontes externas.
Da propriedade, com tratamento	2	São todos aqueles insumos (como semente, adubos orgânicos) gerados nas propriedades agrícolas e que passam por algum tipo de tratamento, adequado à sua utilização como insumo.
Da propriedade, sem tratamento	3	São todos aqueles insumos (como semente, adubos orgânicos) gerados nas propriedades agrícolas e que são aproveitados (reintroduzidos no ciclo produtivo) sem receber um tratamento adequado.
Combinados	4	Os insumos utilizados são em parte

		provenientes da propriedade (sementes, adubos orgânicos) e em parte do mercado (adubos minerais, sementes certificadas, etc.).
Do mercado	5	Os insumos são na maioria adquiridos no mercado.

Tabela 6: Alternativas da opção quantidade de agrotóxicos com respectivas entropias

Alternativa	Entropia	Explicação
Não aplica	1	
Moderada	3	A decisão da necessidade de aplicação ocorre após criteriosa avaliação e, quando concretizada, observa rigorosamente as prescrições da assistência técnica ou do fabricante (quanto à quantidade).
Elevada	4	A decisão da necessidade de aplicação se fundamenta em expectativas de queda no rendimento, sem que a mesma seja necessariamente verificada. A quantidade aplicada segue as prescrições técnicas.
Muito elevada	5	A decisão da necessidade de aplicação não se fundamenta em

		recomendações técnicas. A dose empregada freqüentemente excede as prescrições do fabricante.
--	--	--

Tabela 7: Alternativas da opção manipulação de agrotóxicos com respectivas entropias

Alternativa	Entropia	Explicação
Boa	3	Quando o agrotóxico é aplicado, em qualquer dose, tomando-se as precauções possíveis com relação à intoxicação de pessoas e animais, bem como com a manipulação de resíduos (embalagens, sobras em tanques de pulverizadores, etc.).
Tolerável	4	Quando qualquer dose do agrotóxico é aplicada com algum cuidado em relação à intoxicação de pessoas e animais, e na manipulação de resíduos.
Ruim	5	Quando o agrotóxico é aplicado, em qualquer dose, sem preocupação em relação à intoxicação e à manipulação de resíduos (como por exemplo quando as embalagens são abandonadas em qualquer lugar da propriedade).

Tabela 8: Alternativas da opção potencial de poluição das águas com respectivas entropias

Alternativa	Entropia	Explicação
Não significativo	1	Quando da combinação entre quantidade e manipulação de fertilizantes e agrotóxicos e características e manejo do meio no qual esses insumos químicos estão sendo destinados, não há risco aparente de eutrofização ou contaminação de águas subterrâneas e superficiais.
Moderado	3	Quando da combinação entre quantidade e manipulação de fertilizantes e agrotóxicos e características e manejo do meio no qual esses insumos químicos estão

		sendo destinados, o risco de eutrofização ou contaminação de águas subterrâneas e superficiais é provável.
Elevado	4	Quando da combinação entre quantidade e manipulação de fertilizantes e agrotóxicos e características e manejo do meio no qual esses insumos químicos estão sendo destinados, o risco de eutrofização ou contaminação de águas subterrâneas e superficiais é certo.
Muito elevado	5	Quando da combinação entre quantidade e manipulação de fertilizantes e agrotóxicos e características e manejo do meio no qual esses insumos químicos estão sendo destinados, o risco de eutrofização ou contaminação de águas subterrâneas é imediato.

A média dos valores de entropia do quadro de registro da ‘situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo’ (quadro 1) gera o custo entrópico médio do processo produtivo. Os autores optaram por usar medidas de entropia como uma forma de medir o grau de sustentabilidade da relação entre o homem e o meio ambiente e os valores de entropia são por eles arbitrados.

A entropia é uma medida de desordem ou desorganização. Valores elevados de entropia estão associados a sistemas instáveis e que possuem um elevado dispêndio energético, enquanto que um sistema estável possui uma entropia mais baixa. Assim sendo, podemos deduzir que sistemas com elevada entropia são pouco sustentáveis, enquanto que sistemas mais estáveis, com uma menor entropia, possuem uma sustentabilidade maior.

De acordo com o custo entrópico médio obtido, são dados pesos aos critérios conservacionista, operacionalidade das atividades e edafo-econômico, conforme a tabela 9. Estes pesos refletem o grau de importância que deve ser dado a cada um destes aspectos no decorrer da avaliação. Estes três critérios refletem as principais formas de interpretar e classificar as relações entre o homem e o meio agrícola (D'Agostini & Schlindwein, 1997).

Tabela 9: Peso dos critérios segundo o custo entrópico médio do processo produtivo

Critérios	Conservacionista	Operacionalidade das Atividades	Edafo-Econômico
Custo Entrópico			
Elevado ($\geq 3,8$)	11	7	3
Moderado (2,4 a 3,7)	7	7	7
Reduzido ($\leq 2,3$)	3	7	11

Assim, sistemas com entropia elevada recebem um peso maior no critério conservacionista, sistemas com entropia moderada recebem um peso igual nos três critérios, enquanto que sistemas com entropia reduzida recebem um peso maior no critério edafo-econômico. Isto significa dizer que um sistema com um elevado dispêndio energético deverá ater-se mais à conservação do meio ambiente. No extremo oposto, um sistema com reduzida entropia pode tornar-se mais eficiente se bem adequado às características edafo-econômicas.

O critério conservacionista é constituído unicamente pelo atributo declividade (a composição de cada critério pode ser vista adiante, na tabela 15). Nesta versão do sistema de avaliação julgou-se que a declividade do terreno seria o fator

preponderante com respeito à conservação do terreno. Contudo, outros aspectos tais como a presença e diversidade da cobertura vegetal também exercem influência no conservacionismo da gleba. Em uma versão mais recente do sistema, desenvolvida no decorrer deste trabalho, os autores optaram por utilizar o custo entrópico médio da gleba como uma forma de medir-se o conservacionismo. É mais efetivo pois não julga previamente o critério conservacionista somente com base na declividade da gleba, a qual não deixa de ser um atributo que merece atenção pois a utilização de glebas com declive acentuado usualmente resulta em danos mais graves ao meio ambiente (tais como a erosão) do que a utilização de glebas planas.

O critério operacionalidade das atividades é constituído por atributos (declividade, pedregosidade e profundidade do solo) que exercem influência sobre as atividades desenvolvidas na gleba. A declividade pode dificultar as operações, assim como o nível de pedregosidade da gleba.

O critério edafo-econômico é constituído por atributos que dizem respeito ao solo e aos aspectos econômicos que podem ser depreendidos do uso deste. Assim como os demais critérios, dependendo do manejo que é dado ao meio e aos insumos e do uso que é dado à gleba, os valores dos atributos que o compõem podem resultar em uma classe maior ou menor para a gleba, indicando o grau de sustentabilidade da relação entre o homem e o meio.

No quadro de registro seguinte, ‘situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio’ (quadro 2), não há valores de entropia mas nota-se que as opções (fertilidade do solo avaliada pela quantidade de Cálcio mais Magnésio e pela quantidade de Fósforo “extraível”, horizonte

Alternativa	Classe Textural (% argila)		
	>40	11 a 40	<=10
Alto (AL)	>10,0	>20,0	>30,0
Médio (ME)	4,0 a 10,0	8,0 a 20,0	12,0 a 30,0
Baixo (BA)	<4,0	<8,0	<12,0

Obs: os valores centrais da tabela (hachurados) encontram-se em mg/L e referem-se aos valores de fósforo extraível

Tabela 12: Alternativas da opção horizonte diagnóstico superficial

Alternativa	Explicação
Chernozêmico (CH)	Horizonte mineral espesso (>25cm), rico em matéria orgânica (>2,5% de carbono orgânico), com consistência macia e friável, escuro, eutrófico e que geralmente ocorre em solo Brunizém.
Proeminente (PR)	Apresenta características físicas de horizonte chernozêmico, sendo porém distrófico.
Húmico (HU)	Apesar de apresentar características muito semelhantes às do horizonte proeminente, inclusive a de ser distrófico, é mais espesso e mais rico em matéria orgânica, embora esteja abaixo do limite inferior (17% de carbono orgânico) para caracterizar horizonte A turfoso.
Moderado (MO)	Tem baixos teores de carbono orgânico (<2,5%) e, portanto, cor clara. Mesmo que o teor de carbono orgânico seja suficiente para caracterizá-lo como um horizonte proeminente, não satisfará outras exigências (por exemplo: espessura).
Fraco (FR)	Próprio de areias quartzosas, apresenta teores muito baixos de carbono orgânico e cores muito claras, determinadas pela abundante presença de sílica.
Turfoso (TU)	Horizonte superficial mal drenado, no mínimo com 17% de carbono orgânico.

Tabela 13: Alternativas da opção pedregosidade

Alternativa	Explicação
Ausente (AUS)	Quando virtualmente não há pedras.
Pouco-significativa (PS)	Quando as pedras ocorrem em quantidade ou na forma que não represente limitações operacionais ao uso preferencial.

Significativa (SIG)	Quando dificultam as operações e podem danificar os equipamentos.
Muito-significativa (MS)	Quando a quantidade de pedras limita determinantemente o uso preferencial.

Tabela 14: Alternativas da opção drenagem

Alternativa	Explicação
Boa (B)	Significa que a condição de oxigenação é adequada para atender as necessidades fisiológicas das plantas.
Regular (R)	Em certas épocas do ano pode haver limitações de oxigenação.
Má (M)	Durante a maior parte do ano o solo encontra-se deficientemente oxigenado para as necessidades implícitas no uso preferencial.

A seguir, obtém-se a classe da relação entre homem e meio ambiente aplicando-se a fórmula

$$\text{classe} = \frac{(\text{PCC} \times \text{VCC}) + (\text{PCO} \times \text{VCO}) + (\text{PCE} \times \text{VCE})}{21}$$

na qual PCC, PCO e PCE são respectivamente o peso do critério conservacionista, operacionalidade das atividades e edafo-econômico, e VCC, VCO e VCE são as classes dos respectivos critérios obtidas da tabela 15.

A categoria da relação entre homem e meio ambiente é obtida conforme a classe desta relação e contém um texto explicativo da situação que ocorre na gleba avaliada, como pode ser visto na tabela 16. Esta é a tabela que contém as conclusões finais do presente sistema.

Ainda consta do sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997) um índice da qualidade da relação de manejo, calculado para uma área que contenha várias glebas (tal como uma microbacia hidrográfica, por exemplo) e uma notação que evidencia aspectos da gleba avaliada. Ambos não foram adotados no presente trabalho por desejar-se fazer um sistema minimizado que atenderia às necessidades básicas da avaliação, ou seja, a obtenção da categoria da relação entre homem e meio ambiente (tabela 16). Há outros motivos que serão discutidos posteriormente.

Há uma observação quanto à opção preferencial de reflorestamento: os autores propõem que para a floresta nativa sob preservação a categoria seja F, para a floresta nativa sob exploração com um plano técnico aprovado em um órgão competente a categoria seja B, enquanto que para a floresta nativa sob exploração sem um plano técnico aprovado em um órgão competente a categoria seja E.

Tabela 16: Categoria da relação entre homem e meio ambiente
segundo a classe desta relação

Categoria	Classe da relação	Texto explicativo
A	≥ 1 e $\leq 1,5$	Situação em que o uso preferencial é apropriado

		para as características do meio. As relações de uso prevalentes podem ser mantidas por tempo indeterminado, sem riscos à sua sustentabilidade, à ótica de qualquer um dos critérios.
B	>1,5 e <=2,5	Situação em que o uso preferencial é compatível com as características do meio. As relações de uso prevalentes podem perdurar por tempo indeterminado, com limitados riscos à sua sustentabilidade, à ótica da significação do conjunto de critérios.
C	>2,5 e <=3,5	Situação em que o uso preferencial é tecnicamente apenas tolerável frente as características do meio. A persistência das relações de uso preferencial representa reais riscos à sustentabilidade das relações mantidas, bem como daquelas futuras que, se adotadas atualmente, poderiam ser adequadas.
D	>3,5 e <=4,5	Situação em que o uso preferencial é tecnicamente não recomendado frente as características do meio. A persistência das relações de uso prevalentes são insustentáveis a médio ou longo prazo.
E	>4,5 e <=5	Situação em que o uso preferencial é tecnicamente condenável frente as características do meio. A longo prazo a relação mantida é insustentável à ótica de qualquer um dos critérios.
F		Situação em que a extensão de meio não se encontra sob uso agrícola, ou então as características dessa extensão de meio não permitem aquele uso.

2.2. Sistemas Especialistas

Os sistemas especialistas (SE) surgiram na década de 60, quando originou-se o termo “sistema baseado em conhecimento”. Nesta época ainda não havia uma definição clara do papel do engenheiro de conhecimento, que estava começando seu aprendizado de como desenvolver SE. Em função disso, estes sistemas requeriam um maior número de pessoas envolvidas em seu desenvolvimento. Na década de 70, já com a definição de algumas técnicas estruturais, observou-se uma nítida redução na relação entre o número de pessoas envolvidas por ano necessárias ao desenvolvimento dos SE. A partir da década de 80 o número de SE desenvolvidos aumentou bastante e houve o desenvolvimento das “Shells”.

São vários os SE desenvolvidos para a agricultura, sendo que alguns exemplos podem ser vistos na tabela 17. Segundo Durkin (1994), a agricultura é uma das áreas de maior aplicação de SE, com aproximadamente uma centena de sistemas desenvolvidos. O crescente uso destes sistemas deve-se ao êxito alcançado pelos mesmos nas tarefas para as quais são designados. Tem-se, com o desenvolvimento de sistemas deste tipo, um especialista permanente que opera com um baixo custo e que pode ter um alcance bem maior que a simples presença do especialista (Waterman, 1986). É uma forma de difundir o seu conhecimento.

Tabela 17: Alguns sistemas especialistas já desenvolvidos para a agricultura

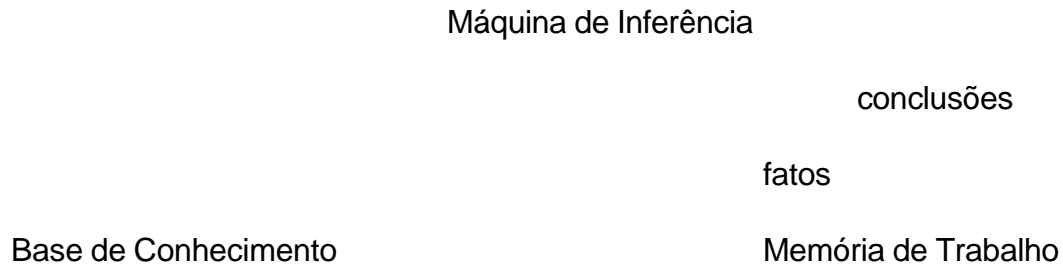
Nome	Objetivo
ZOVEX	Criação de suínos (gerenciamento da saúde animal)

CUPTEX	Produção de pepinos
CITEX	Produção de laranjas
NEPER WHEAT	Gerenciamento de trigo irrigado
TOMATEX	Produção de tomates
LIMEX	Produção de limas
MAIZE	Gerenciamento do milho
EQWISE	Diagnose de doenças eqüinas
OXWISE	Diagnose de doenças bovinas
PLANT/d9	Diagnóstico e tratamento de doenças da soja
POMME	Recomendações para o controle de pragas, tratamento de doenças de inverno, controle da seca e seleção de pesticidas para macieiras
MAMMITRON	Diagnóstico epidemiológico de infecções mamárias do gado leiteiro
ZEA	Conselho e condução da cultura do milho
AIDECS	Planejamento do gerenciamento agrícola para controle de condições ambientais
AQ11	Diagnose de doenças da soja
BULBFLY	Gerenciamento de trigo
OMAX	Assistência a produtores de algodão
??ID	Prescrição de fertilizantes
??nARs	Avaliação das finanças de uma fazenda
LUCVAR	Produção de alfafa
SOILCROP	Produtividade de grãos com conservação do solo
MUSH	Gerenciamento de cultivos

Fontes: Enting (1998), CLAES (1998), McClure (1998), Gettinby et al (1998), Fitzpatrick (1998), Dumanski & Gameda (1997), Todesco (1991) e Durkin (1994)

A estrutura de um SE consiste basicamente de uma base de conhecimento, de uma memória de trabalho e de uma máquina de inferência (fig. 2).

Figura 2: Estrutura de um SE



Fonte: abstraído de Durkin (1994)

A base de conhecimento contém o conhecimento a respeito do domínio do problema. O conhecimento contido pode ser expresso na forma de regras que contém uma premissa e uma conclusão (fig. 3). As regras descrevem o que deve ser feito com os fatos (Lawrence, 1992).

Figura 3: Estrutura de uma regra

Premissa	Conclusão
SE x	ENTÃO y

A memória de trabalho contém fatos que são descobertos durante uma sessão com o SE. A máquina de inferência é um processador que busca coincidir os fatos contidos na memória de trabalho com o conhecimento contido na base de conhecimento para chegar a conclusões sobre o problema.

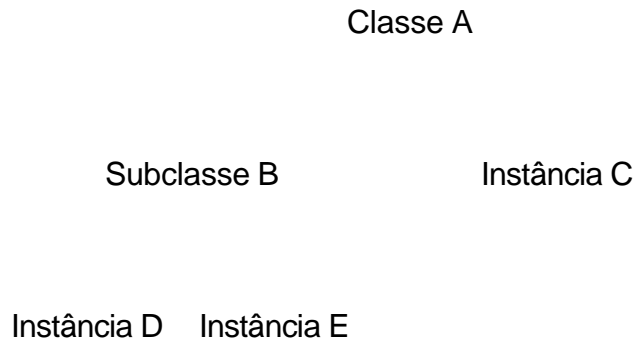
Ainda consta da estrutura uma interface com o usuário, que é responsável pela interação deste com o sistema, e um mecanismo de explanação, que é responsável pelas explicações dadas ao usuário quando este as solicitar. A “Shell”

utilizada contém o mecanismo de explanação ‘como’, que explica ao usuário o porquê do sistema chegar a uma determinada conclusão.

A máquina de inferência opera, basicamente, com um dos seguintes tipos de técnicas de inferência: ‘encadeamento para frente’ ou ‘encadeamento para trás’. No ‘encadeamento para frente’ parte-se de um conjunto de fatos que acionam regras cujas premissas coincidam com estes fatos para adicionar novos fatos à memória de trabalho, continuando este processo até que não hajam mais regras a serem acionadas ou até que um objetivo seja alcançado. No ‘encadeamento para trás’ parte-se de um objetivo que deve ser atingido dando-lhe suporte com base nas conclusões das regras cujas premissas, caso não estejam na memória de trabalho, devem ser obtidas das conclusões de outras regras ou do usuário.

O conhecimento pode ser representado de várias formas. Aqui abordaremos a forma de regras, já vistas, e a forma de quadros (“frames”). Na representação por “frames” o conhecimento é declarado de uma forma semelhante à orientação a objetos. O conhecimento é estruturado de uma forma hierárquica em que os ramos inferiores, as subclasses e as instâncias, herdam as características dos ramos superiores, as classes e as subclasses, respectivamente (fig. 4). O número de subclasses é variável e elas podem estar ausentes, às vezes, podendo esta estrutura adquirir as formas mais variadas.

Figura 4: Exemplo de uma estrutura hierárquica



Os “frames” contém “slots” (atributos ou locais), aos quais são dados valores para caracterizá-los. Os “slots” possuem um tipo de valor (numérico, alfanumérico ou booleano), podem ser inicializados com um valor (“default”), possuem uma documentação que explica o que ele é, uma cardinalidade (atributo uni ou multi-valorado), uma definição dos valores permissíveis, e métodos do tipo “if-needed” e “if-changed”. Os métodos “if-needed” especificam uma ação a ser tomada caso o valor do “slot” seja necessário, e os métodos “if-changed” especificam uma ação a ser tomada se o valor do “slot” mudar. Aos “frames” podem ainda associar-se outros métodos destinados à manipulação de dados dentro e entre “frames” (Durkin, 1994).

O processo de construção de um SE, objeto da engenharia do conhecimento, pode ser dividido em 6 fases (Durkin, 1994): Avaliação, Aquisição do Conhecimento, ‘Design’, Teste, Documentação e Manutenção.

2.2.1. Avaliação

Na fase de Avaliação é feito um projeto em que é provado a praticabilidade e justificação do problema. Definem-se também os objetivos do projeto e determinam-se os recursos necessários, inclusive a nível de pessoal.

2.2.2. Aquisição do Conhecimento

Na fase de Aquisição do Conhecimento, como o próprio nome diz, adquire-se o conhecimento necessário sobre o problema. O objetivo é descobrir os conceitos-chave e os métodos de resolução utilizados pelo “expert” (especialista). Este conhecimento pode ser tanto adquirido na forma de observações, ou seja, observando o “expert” resolver problemas reais, ou na forma intuitiva, em que utiliza-se a introspecção e o engenheiro de conhecimento se torna um “pseudo-expert” (Waterman, 1986).

2.2.3. ‘Design’

Na fase de ‘Design’ constrói-se um protótipo do sistema a ser desenvolvido. Previamente a isso determina-se a melhor forma de representar o conhecimento adquirido sobre o problema (regras, “frames”, etc.).

2.2.4. Teste

Na fase de Teste verifica-se a estrutura geral do sistema e seu conhecimento. É importante saber se o sistema está respondendo adequadamente às questões por

ele trabalhadas. No caso de haverem erros, é necessário às vezes retornar à fase anterior para refinar-se o conhecimento contido no sistema.

2.2.5. Documentação

Na fase de Documentação gera-se um documento que contenha as informações necessárias para o usuário e para o engenheiro de conhecimento, em que o primeiro é brindado com um tutorial sobre o programa e o segundo com um dicionário de conhecimento, no qual há uma apresentação do conhecimento do sistema e dos procedimentos de resolução dos problemas.

2.2.6. Manutenção

Por fim, na fase de Manutenção mantém-se a base de conhecimento do sistema atualizada, de forma que ele responda às necessidades atuais.

2.2.7. Ferramentas Utilizadas

Para facilitar a construção de SE utilizarm-se “shells”, que são ambientes de programação que contém todos os utilitários necessários para o desenvolvimento e execução destes programas. Segundo Durkin (1994), a maioria dos sistemas (aproximadamente 40%) são desenvolvidos com a ajuda de uma “shell”.

Capítulo 3: o Sistema AGOSTINI

3.1. Desenvolvimento do Sistema Especialista Utilizando a “Shell”

KAPPA-PC

O KAPPA-PC é uma “shell” orientada a objetos para sistemas especialistas que utiliza a linguagem KAL para seu funcionamento (Intellicorp, 1992). Ela representa o conhecimento de uma forma mista, utilizando tanto “frames” como regras. A linguagem KAL é uma linguagem derivada do C e que foi desenvolvida especialmente para esta “shell”.

No KAPPA-PC existem 2 métodos “if-changed”: o “after-change” e o “before-change”; sendo que ambos contém comandos a serem executados em determinadas situações. O método “after-change” é executado após o valor do atributo ser alterado e o método “before-change” é executado antes do valor do atributo ser alterado. O presente sistema utiliza métodos “after-change” para monitorar o preenchimento dos campos dos quadros de registro, no caso do preenchimento manual.

O KAPPA-PC divide-se em 8 janelas nas quais funções específicas são realizadas: “Object Browser”, “Edit Tools”, “Session”, “KAL Interpreter”, “KALView Debugger”, “Find Replace”, “Rule Relations”, “Rule Trace” e “Inference Browser”. Na janela “Object Browser” pode-se ver a hierarquia de conhecimento do sistema. É

possível criar, editar, deletar e renomear classes e instâncias, incluindo seus atributos. Também é possível criar os métodos dos “frames”. Na janela “Edit Tools” temos acesso, da mesma forma que na janela anterior, às classes, instâncias (ambas podendo ser editadas pela “Object Browser”), funções, regras e objetivos. É uma das principais janelas do KAPPA-PC e é onde se desenvolve toda a base de conhecimento do sistema. Na janela “Session” temos acesso às telas criadas que representam a interface com o usuário. As telas são criadas diretamente na “Object Browser”, criando-se instâncias para a subclasse Ksession da classe Kwindow. Na janela “KAL Interpreter” é possível entrar diretamente com comandos da linguagem KAL. A janela seguinte, “KALView Debugger “, é um verificador de erros em comandos e funções. Na janela “Find Replace” podem-se substituir palavras dentro do programa criado. A janela “Rule Relations” mostra a relação entre as premissas e as conclusões das regras na base de conhecimento. Na janela “Rule Trace” é possível ver o processo de raciocínio empregado pela máquina de inferência. Finalmente, na janela “Inference Browser” pode-se ver uma conexão gráfica entre as regras que a máquina de inferência utiliza.

3.2. Fases no Desenvolvimento do Sistema: Avaliação, Aquisição do Conhecimento e ‘Design’

Na fase de avaliação desenvolveu-se um projeto sucinto em que constaram os meios de resolução do problema proposto e os objetivos a serem alcançados; entre os meios podemos citar a utilização das explicações das alternativas de cada

opção como fonte de referência para a construção das regras da base de conhecimento e o uso das mesmas para elucidar o processo de resolução de cada opção, ou seja, a forma de obtenção da resposta. Para resolver-se o problema optou-se por utilizar a “shell” KAPPA-PC como uma forma de acelerar o processo de construção do protótipo. O sistema deveria estar concluído antes do término da duração do curso, assim como o trabalho referente a ele. Os recursos materiais necessários à execução do projeto foram o trabalho de D’Agostini & Schlindwein (1997) e um computador PC 80386. A nível de pessoal, necessitou-se da ajuda do Prof. D’Agostini e do Prof. Uberti, ambos do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e do Prof. Lanzer, do Departamento de Engenharia de Produção, também da UFSC. O Prof. Uberti auxiliou bastante na elucidação dos conceitos da opção ‘horizonte superficial’, e o Prof. Lanzer auxiliou na elucidação de conceitos agronômicos gerais.

Na fase de ‘Aquisição do Conhecimento’ foram necessárias poucas entrevistas com os especialistas, visto que no trabalho de D’Agostini & Schlindwein (1997) as alternativas de cada opção já continham, na maioria dos casos, informações suficientes à construção da base de conhecimento do SE. Através das alternativas também foi possível deduzir os métodos de resolução utilizados. De uma forma geral, caracterizou-se uma extração intuitiva do conhecimento.

A fase de ‘Design’ foi caracterizada pela construção do aplicativo a que se refere este trabalho e a documentação é dada a seguir. O tutorial encontra-se em anexo. O aplicativo ainda encontra-se em fase de teste, contudo, até o presente momento, pode adiantar-se que os autores estão felizes com os resultados obtidos.

3.3. Aspectos Técnicos da Construção do Aplicativo

O sistema desenvolvido contém 13 módulos embutidos específicos para as opções de mecanização, presença de cobertura vegetal, diversidade da cobertura vegetal, controle do escoamento, sementes e fertilizantes, quantidade de agrotóxicos, manipulação de agrotóxicos, potencial de poluição das águas, quantidade de Cálcio mais Magnésio, quantidade de Fósforo “extraível”, horizonte diagnóstico superficial, pedregosidade e drenagem. O número de regras contidas em cada um destes módulos dependeu do número de alternativas para cada opção (tabela 18), visto que cada alternativa representou uma regra. Assim, a base de conhecimento de cada módulo constou de um número pequeno de regras. Isto deve-se ao fato de que o domínio de cada problema era igualmente pequeno.

Na base de conhecimento totalizaram-se assim 53 regras relativas aos assuntos específicos de cada opção. Convém notar aqui que os assuntos quantidade de Cálcio mais Magnésio e quantidade de Fósforo “extraível” diferenciaram-se dos demais por requisitarem valores numéricos e obterem as respostas diretamente de uma tabela, enquanto que nos demais o usuário é conduzido através de questões até chegar-se a uma conclusão. Estas questões, na sua maioria, têm um caráter booleano, com respostas do tipo sim ou não.

Tabela 18: Número de regras para cada módulo

Opção	Número de regras
Mecanização	5
Presença de cobertura vegetal	4
Diversidade de cobertura vegetal	4
Controle do escoamento	5
Sementes e fertilizantes	5
Quantidade de agrotóxicos	4
Manipulação de agrotóxicos	3
Potencial de poluição das águas	4
Quantidade de Cálcio + Magnésio	3
Quantidade de Fósforo “extraível”	3
Horizonte diagnóstico superficial	6
Pedregosidade	4
Drenagem	3

A estrutura hierárquica de cada módulo dependeu da forma com que as alternativas foram diferenciadas. Contudo, para todos os módulos desenvolvidos (exceto para a opção mecanização), cada nova subclasse acrescida continha um novo atributo que diferenciava uma (ou mais) alternativa(s) das demais. À medida que aprofundava-se na estrutura hierárquica, as regras relacionadas às alternativas ali presentes necessitavam de mais fatos para chegar a uma conclusão. Em outras palavras, a conclusão seria mais difícil.

O atributo a que o objetivo da máquina de inferência fazia referência pertencia sempre à primeira classe da hierarquia. Era o atributo que continha todas as alternativas disponíveis para a opção. Todas as regras (para cada módulo) concluíram dando valores para este atributo. Na opção mecanização a classe conteve dois atributos pertinentes à diferenciação das alternativas, visto que, da forma que as alternativas se apresentaram, esta construção foi a que mais se encaixou com o problema.

As regras da base de conhecimento de cada modulo foram construídas identificando-se as características próprias ao conjunto e alternativas pertencentes a uma mesma opção. Estas características, ordenadas em uma tabela, permitiram diferenciar as alternativas entre si, o que tornou computacional a representação destas diferenças. Em outras palavras, as regras foram abstraídas das tabelas 1 a 8 (do quadro de registro da 'situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo') e 10 a 14 (do quadro de registro da 'situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores - características - do meio').

Pode-se imaginar o procedimento de busca da máquina de inferência, em relação à base de conhecimento, como sendo efetuado da classe para as subclasses e finalmente para as instâncias. Em outras palavras, como cada subclasse acrescia um novo atributo aos já listados na estrutura hierárquica da classe em questão, pode-se imaginar que, da forma como a base de conhecimento foi construída, cada nova questão do SE resultava na inferiorização da estrutura (cada vez uma subclasse mais distante da classe).

A máquina de inferência foi ajustada para operar com 'encadeamento para trás', visto que o objetivo do sistema proposto foi, para todos os módulos, buscar o valor do atributo que continha todas as respostas (encontrado na classe da base da árvore). Em outras palavras, buscava-se descobrir a alternativa que fôsse disparada por alguma regra. No 'encadeamento para trás' a máquina de inferência visa a parte conclusiva das regras e procura sustentá-la com base nos fatos da memória de trabalho, que são acrescentados na medida do necessário.

Fez-se uso de métodos “if-changed” do tipo “after-change” para monitorar-se a valoração dos atributos preenchidos no preenchimento manual dos quadros. Estes monitores foram necessários para guiar o programa no sentido de que ele fôsse capaz de identificar quando um determinado quadro de registro havia sido corretamente preenchido para então permitir o acesso a calculos que dependiam de todos os valores destes quadro. Por exemplo, quando o usuário fornece informações suficientes para o sistema concluir sobre a opção mecanização, o sistema atribui um valor ‘OK’ para o monitor desta opção. Quando todas as opções deste quadro de registro possuem um ‘OK’ em seus monitores é possível manualmente calcular o custo entrópico médio.

Assim, no quadro de registro da ‘situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo’ estes monitores foram associados ao cálculo do custo entrópico médio do processo produtivo, o qual somente poderia ser executado quando o quadro estivesse completo, enquanto que no quadro de registro da ‘situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio’ os monitores foram associados ao cálculo da classe e da categoria da gleba avaliada. Estes, da mesma forma que no quadro anterior, somente poderiam ser calculados quando o quadro, se preenchido manualmente, estivesse completo.

Em termos computacionais, os métodos “after-change” do primeiro quadro foram associados aos atributos relacionados à entropia da alternativa escolhida. Em outras palavras, somente quando o valor da entropia da alternativa é obtido pelo programa que será atribuído um valor ‘OK’ para o monitor da opção em questão. Para exemplificar, tomemos novamente como exemplo a mecanização: quando

tiverem sido fornecidas informações suficientes o sistema concluirá com o tipo de mecanização e também informará o valor de entropia da alternativa (conclusão); neste momento, o método “after-change” que está associado ao atributo da entropia da opção mecanização atribuirá um valor ‘OK’ para o atributo relativo ao monitor “after-change”, evitando-se assim que uma função (o cálculo do custo entrópico médio) seja realizada sem haverem dados não fornecidos ao sistema, o que resultaria em um erro na linguagem KAL.

Os métodos “after-change” do segundo quadro foram associados diretamente, para cada opção, ao seu respectivo atributo que continha o resultado obtido pelo SE. Estes métodos diferem dos anteriores por não tomarem como base valores de entropia, os quais não existem no segundo quadro de registro, mas sim as alternativas (conclusões) possíveis para cada opção do quadro de registro.

Para os quadros de preenchimento foram desenvolvidas funções para ajudar no preenchimento do campo com o uso do SE, explicação do resultado obtido, preenchimento direto do resultado do campo e deleção dos valores do campo. Funções adicionais foram desenvolvidas para calcular o custo entrópico médio do processo produtivo e para calcular a classe da gleba, com sua respectiva categoria. Além destas, foram criadas funções de navegação.

As regras referenciaram atributos dos objetos do sistema. Um exemplo de uma estrutura de uma regra pode ser visto na figura 5.

Figura 5: Modelo de regra para o sistema desenvolvido

If (classe:atributo != dado) Then (classe:atributo = dado)

Exemplo de uma regra em KAL:

If (Mecanização:MeioMecanizaçãoTraçãoTipo != Veículo_Motorizado)

And (Mecanização:MeioMecanizaçãoTraçãoIntens != Não)

Then (Mecanização:MeioMecanizaçãoEntropia = 4) And

(Mecanização:MeioMecanizaçãoResult = Motorizada_Mínima)

Note que na porção conclusiva da regra dá-se o valor de entropia da alternativa (4) juntamente com a resposta da opção (Motorizada_Mínima). Isto ocorre porque esta regra pertence ao primeiro quadro de registro, em que obter os valores de entropia é o objetivo dos módulos. Já no segundo quadro de registro, a porção conclusiva das regras muda:

If (CaractHorizS:CaractHorizSOrigem != Mineral)

And (Cor:CaractHorizSCor != Não)

And (Eutrófico:CaractHorizSEutrófico != Não)

And (TeorCOrg:CaractHorizSTeorCOrg < 7.5)

Then CaractHorizS:CaractHorizSResult = Proeminente

De uma forma geral, com base no que pode ser visto na figura 5, as regras pertencentes às opções do quadro de registro da 'situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo' referenciam dois atributos em sua porção conclusiva, enquanto que as regras do quadro de registro da 'situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio' referenciam apenas um atributo.

As regras da figura 5 podem ser traduzidas e vistas da seguinte forma, respectivamente (quadro 3):

Quadro 3: Exemplo de regras (traduzidas) para o sistema desenvolvido

Se o tipo de tração é veículo motorizado e
o preparo do solo não é feito da forma convencional
Então a entropia é 4 e
a mecanização é Motorizada Mínima

Se o solo é de origem mineral e
a cor do solo não é clara e
o solo não é eutrófico e
o teor de carbono orgânico do solo é menor que 7,5
Então o horizonte superficial é Proeminente

As questões dos módulos do SE, na medida que aumentaram em quantidade antes do sistema atingir uma resposta, referenciavam cada vez mais atributos, aos quais eram dados valores no momento em que a resposta para a questão era dada.

A linguagem KAL é de fácil utilização e poucos comandos são necessários para o desenvolvimento de um sistema completo. De fato, a linguagem foi mais utilizada na criação de funções, de métodos e no desenvolvimento da base de conhecimento. Neste momento, fez-se bastante referência aos atributos dos objetos (“frames”) do sistema, pois é através da manipulação destas informações que a máquina de inferência vai chegar às suas conclusões.

Uma das vantagens de se utilizar a “shell” KAPPA-PC foi o desenvolvimento da interface em um ambiente gráfico. O uso da “shell” também evitou a programação desnecessária do sistema em uma linguagem convencional, visto que este não era o objetivo deste trabalho e, desta forma, tomaria algum tempo adicional.

4. Resultados e Discussão

Os especialistas aprovaram o sistema que, segundo eles, facilitou o preenchimento dos campos de seu sistema de avaliação e também facilitou a avaliação como um todo. O conhecimento contido no sistema correspondeu com os pressupostos para o qual foi avaliado. Um pequeno número de pessoas testou o sistema, inclusive sugerindo mudanças em sua estrutura e apresentação.

Convém dizer que outro sistema computacional anteriormente desenvolvido realiza a avaliação por completo, mas não com o uso de sistemas especialistas, e sim, através de algoritmos e de programação convencional. Neste outro sistema são fornecidas as alternativas de cada opção de avaliação, e é necessário que o técnico que o utilize conheça o significado destas alternativas. Este sistema não auxilia o técnico no preenchimento dos quadros de registro no sentido de acompanhar a escolha de uma determinada alternativa: elas são apresentadas sem haver um esclarecimento a seu respeito. Contudo, em vista do melhoramento do ambiente deste sistema em comparação com o outro anteriormente desenvolvido, há diferenças a serem ressaltadas.

A favor do sistema aqui tratado temos uma maior facilidade de execução da avaliação: não é necessário que o usuário conheça o significado dos termos desta, uma vez que estes ficaram implícitos no decorrer da avaliação. Diz-se implícitos porque o conhecimento técnico a respeito do significado das alternativas do sistema

de avaliação não é necessário, já que através das questões realizadas o sistema depreende tais termos. Outra vantagem é a possibilidade de uma explicação sobre a conclusão obtida para cada opção, o que não é possível no outro sistema. Também é possível alterar-se facilmente a base de conhecimento do sistema AGOSTINI caso isto seja necessário, enquanto que no outro sistema isto necessita de uma reprogramação em seus algoritmos para ser feito.

Por outro lado, o sistema aqui desenvolvido não executa toda a avaliação. Convém dizer que o sistema de D'Agostini & Schlindwein (1997) termina sua avaliação com uma notação de caráter orientador às práticas adotadas pelo produtor rural. Esta notação, embora importante, ainda pode ser obtida pelo outro sistema, que pode ser utilizado em conjunto com o aqui desenvolvido. O usuário (técnico agrícola) pode obter as conclusões do SE sobre cada opção e fornecê-las ao outro sistema. Pensa-se futuramente em fazer um intercâmbio direto de informação entre os dois sistemas, de modo que os resultados de um possam ser utilizados diretamente no outro.

Voltando à questão da não-execução completa da avaliação, viu-se que esta não desmereceu o sistema aqui desenvolvido, uma vez que um dos maiores objetivos era propiciar uma ferramenta que pudesse ser usada não somente a campo pelos técnicos agrícolas, e sim, uma ferramenta que pudesse auxiliar em seu treinamento. Sobre o fato de que não é executada toda a avaliação, temia-se que o sistema, ao tornar-se maior, não pudesse ser carregado em equipamentos com pouca memória disponível, o que é típico dos computadores do tipo Lap-Top. Imagina-se que este tipo de equipamento seja utilizado, no caso de uma avaliação

feita a campo. Convém dizer que estes equipamentos, exceto pelos mais recentes, possuem usualmente de 2 a 4 Mb de memória, sendo uma boa parte utilizada pelo ambiente 'Windows', que é necessário para carregar a "shell" na qual roda o aplicativo. Considere-se também o fato de ser necessário um pouco de memória para carregar o outro sistema, caso isto seja necessário.

O público alvo para o qual o sistema foi desenvolvido ainda está testando o aplicativo desenvolvido, contudo, pode adiantar-se que o sistema tem sido bem aceito, exceto pelas ressalvas feitas nos parágrafos anteriores.

Com o sistema desenvolvido o técnico que executá-lo não mais precisa ser um especialista no sistema de avaliação, uma vez que as informações necessárias para o preenchimento dos campos encontram-se presentes dentro dele.

Espera-se que com o sistema desenvolvido e sua posterior utilização os produtores rurais venham a conscientizar-se e a procurar formas de utilizar suas terras de uma forma ecologicamente mais equilibrada, sem levá-las a exaustão de seus recursos naturais. Isto reflete-se na forma do desenvolvimento sustentável, que é um objetivo que deveria ser adotado por todos aqueles que lidam direta ou indiretamente com o meio ambiente. Com o sistema de D'Agostini & Schlindwein (1997) tem-se uma valiosa ferramenta à condução de avaliações sustentáveis da relação de uso e manejo das terras agrícolas.

5. Conclusões e Recomendações

5.1. Aspectos Específicos

A “shell” escolhida para a construção do sistema facilitou bastante o desenvolvimento da interface com o usuário e da base de conhecimento. Os recursos gráficos do KAPPA-PC são, de fato, atraentes.

O sistema desenvolvido foi pouco testado pelo público-alvo a que se destinou, ou seja, os extensionistas. Desta forma, a interface pode apresentar-se ainda um tanto inadequada ou imprópria no sentido de ser um produto final. Com o objetivo de avaliar-se a interface teria sido interessante que este contato com os usuários tivesse acontecido mais intensamente.

Uma forma de melhorar o aplicativo desenvolvido seria com a introdução de imagens que exemplificassem cada alternativa das opções da avaliação. Estas imagens poderiam ser associadas de alguma forma à entrada direta de dados, tornando assim mais clara a escolha de uma determinada alternativa ou então poderiam ficar dispostas em uma tela à parte. As imagens poderiam ser associadas principalmente aos tipos de solos, já que é difícil fazer-se o reconhecimento destes.

De qualquer forma, procurar-se fazer o sistema de avaliação de D'Agostini & Schlindwein (1997) por completo resultaria em uma grande melhora do sistema desenvolvido, o qual passaria a recomendar ações de manejo. Isto poderia ser feito às custas de um sistema maior.

Outra forma de melhorar-se o aplicativo seria com a introdução de conjuntos difusos (Dunn, 1995). As questões dos sistemas especialistas poderiam ter uma graduação na escolha da resposta, não incidindo assim na atual impossibilidade de gerar-se respostas intermediárias às alternativas apresentadas. Por exemplo, a opção pedregosidade poderia ter a entrada de um valor associado ao grau de pedregosidade do terreno, estimado visualmente, em uma escala de 0 a 100%.

Infelizmente, o KAPPA-PC não possui operadores para trabalhar com conjuntos difusos tais como o MIN e o MAX, de forma que esta “shell” não seria aconselhável para o desenvolvimento de uma nova versão do sistema que incorporasse esta técnica, a não ser que o engenheiro de conhecimento desejasse programar estas funções matemáticas com os operadores disponíveis no KAPPA-PC, aspecto este que deveria ser testado.

5.2. Aspectos Gerais

Ainda são poucos os sistemas especialistas desenvolvidos que são voltados à questão da sustentabilidade, mas este número está crescendo. Na sua maioria, ainda constituem-se de “softwares agrícolas”, com destinação à resolução de problemas bastante específicos dentro da agricultura (Zullo Jr., 1998). Existem projetos em andamento com o uso de sistemas especialistas que incorporam o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com o objetivo da avaliação da aptidão agrícola das terras (Fernandes & Fernandes Filho, 1998) e que destinam-se

ao planejamento de uso da terra em microbacias hidrográficas (Fernandes et al, 1998), este último com um enfoque mais sustentável.

Os sistemas especialistas podem auxiliar bastante em campos onde haja conhecimento disperso e pouco profundo com o intuito de agrupar este conhecimento em um sistema maior. Deve-se levar em consideração, contudo, que quanto maior for o domínio de conhecimento sobre um dado problema, menor será a especificidade do sistema (Durkin, 1994). Em outras palavras, problemas muito amplos não devem requerer do sistema um conhecimento muito profundo, caso contrário a performance do sistema como um todo tenderá a diminuir. Este é o caso do aplicativo desenvolvido, que reúne vários pequenos sistemas especialistas como uma forma de resolver um problema bastante amplo, que é a avaliação da relação de uso e manejo das terras. Esta avaliação, como foi visto, engloba vários aspectos distintos entre si e que caracterizam um conhecimento pouco profundo e bastante disperso.

No campo da agricultura são visíveis várias aplicações para os sistemas especialistas, não somente a nível de avaliações, mas também a nível de recomendações para os agricultores. Estas recomendações podem basear-se em conhecimentos mais profundos a respeito de cada problema, tornando os sistemas bastante específicos. Todesco (1991) desenvolveu um sistema especialista deste tipo. A especificidade não é indesejável, é apenas uma outra forma de desenvolver-se sistemas especialistas.

Para finalizar, o desenvolvimento de “softwares agrícolas” é um campo que tem sido crescentemente explorado. No contexto regional, ele merece grande

atenção a fim que se possa dar um auxílio maior aos técnicos e extensionistas rurais do Estado de Santa Catarina, que por sua vez poderão dar um auxílio maior aos produtores rurais. Já se pensa, inclusive, na questão do “marketing” para a exportação de “softwares agrícolas”, em particular para o mercado europeu (Da Silva Jr. & Traeger, 1998).

6. Referências Bibliográficas

BELLIA, V. **Introdução à economia do meio ambiente**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA: Brasília. 1996. cap. 1.

BRUNDTLAND, GRO H. **Nosso futuro comum**. Fundação Getúlio Vargas: Rio de Janeiro. 1988.

CLAES, The Central Laboratory for Agricultural Expert Systems. **Experts systems in agriculture**. Disponível na Internet. <http://potato.claes.sci.eg/claes/wes.htm>. 14/1/98.

D'AGOSTINI, L.R., SCHLINDWEIN, S.L. 1997. **Dialética da avaliação do uso e manejo das terras**: da classificação interpretativa a um indicador de sustentabilidade. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. 1997. 100p. (não publicado).

DA SILVA Jr., A.G., TRAEGER, C. **Marketing de software agrícola**: análise do mercado europeu. Disponível na Internet. <http://agrosoft.com/ag97/papers/c2t1030.htm>. 11/3/98.

DUMANSKI, J., GAMEDA, S. **SOILCROP**: an expert system for soil conservation crop productivity relationships. Disponível na Internet. <http://paridss.usask.ca/pari/factbook/gameda.html>. 20/5/97.

DUNN, E.G. et al. **Extending the application of fuzzy sets to the problem of agricultural sustainability.** Proceedings of ISUMA - NAFIPS'95. Los

Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press: 497-503. 1995.

DURKIN, J. **Expert systems:** design and development. Prentice-Hall: USA. 1994. caps. 1, 2, 3, 6, 14.

ENTING, I. **ZOVEX:** A zootechnical-veterinary expert system to advise swine farms on animal health management, with special reference to climate and hygiene. Disponível na Internet.

<http://www.prodstyr.husdyr.kvl.dk/NLDS/abstract8.html>. 14/1/98.

FERNANDES, E.N., FERNANDES FILHO, E.I.F. **O uso de sistemas de informação geográfica e sistemas especialistas para avaliação da aptidão agrícola das terras.** Disponível na Internet.

<http://agrosoft.com/ag97/papers/c2t1330.htm>. 11/3/98.

FERNANDES, E.N. et al. **Sistema especialista integrado para planejamento de uso da terra em microbacias hidrográficas.**

Disponível na Internet. <http://www.agrosoft.com/ag95/papers/doc09.htm>. 11/3/98.

FITZPATRICK, J. et al. **OxWise:** a bovine welfare information system/expert.

Disponível na Internet. <http://www.gla.ac.uk/Acad/Vet/VIE/project/oxwise/oxwise.html>. 15/1/98.

GETTINBY, G. et all. **EQWISE**: equine welfare information system/expert.

Disponível na Internet. <http://www.gla.ac.uk/Acad/Vet/VIE/project/eqwise/eqwise.html>. 15/1/98.

INTELLICORP. **KAPPA-PC user's guide**. Intellicorp. 1992. cap.5.

LAWRENCE, J. **Introduction to neural networks and expert systems**.

California Scientific Software: USA. 1992. cap.3.

McCLURE, J.E. **Applications developed by the expert systems**

development group, college of agricultural sciences. Disponível na Internet. <http://isl.msu.edu/int-ag/u-park-pa.html>. 14/1/98.

MELLO FILHO, J.A., DA ROCHA, J.S.M. Diagnóstico físico-ambiental e planejamento do uso da terra, de bacias hidrográficas do vale médio do rio Paraíba do Sul, RJ. **Pesq. Operacional** 15(1): 27-40. 1994.

RESENDE, M. **O manejo dos solos na agricultura sustentável**. In:

ALMEIDA, J., NAVARRO, Z. (org.). Reconstruindo a agricultura: idéias e ideais na perspectiva de um desenvolvimento rural sustentável. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

RAMALHO FILHO, A. et all. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das**

terras. Ministério da Agricultura. Secretaria Geral. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola - SEPLAN. EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1978. 70p.

ROSSITER, D.G. **Evaluación de tierras**: éxitos y retos. Disponível na Internet.

http://www.clarityconnect.com/webpages/dgr2/clcs96_b.gtm. 18/1/96.

TODESCO, J.L. **Um sistema especialista para auxílio na elaboração de recomendações para agricultores no controle da sarna da macieira.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia). Departamento de Engenharia de Produção. UFSC. 1991.

UBERTI, A.A.A. et all. **Metodologia para classificação na aptidão de uso das terras no Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: EMPASC. 1991. 19p.

WATERMAN, D.A. **A guide to expert systems.** Addison-Wesley: USA. 1986. caps. 2, 14.

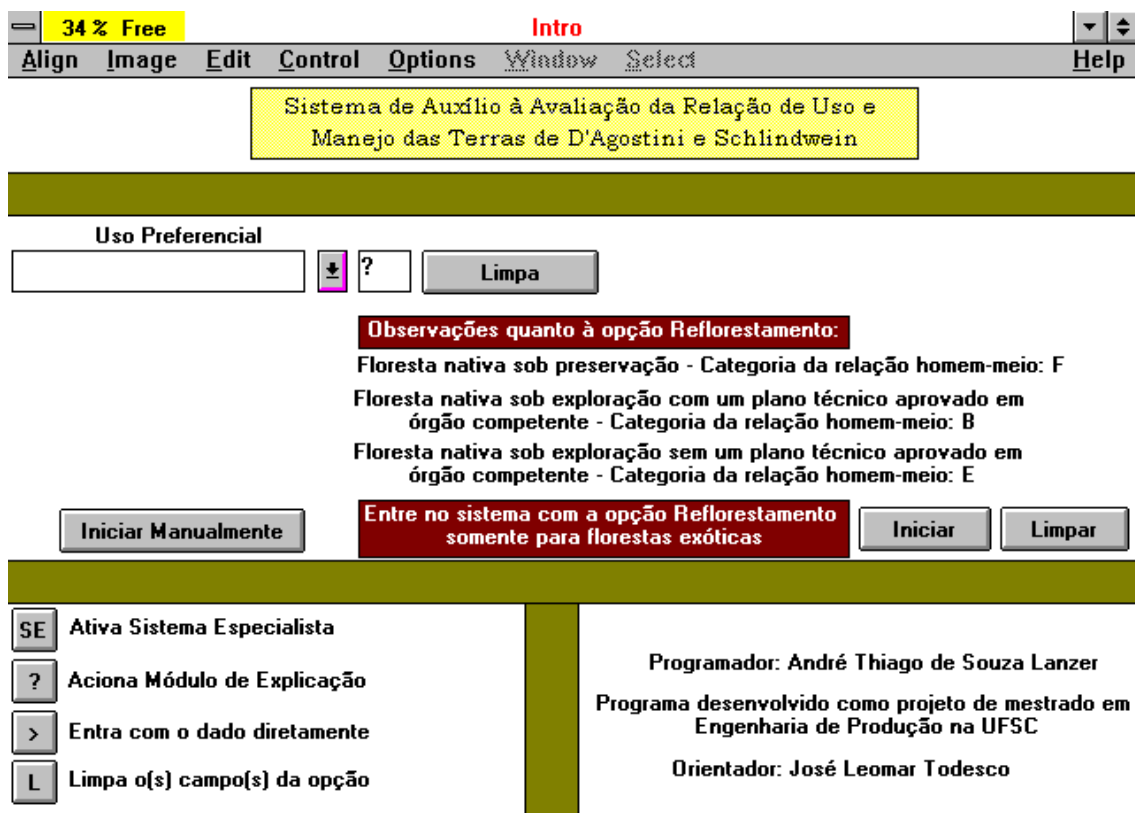
ZULLO Jr., J. **A utilização da informática na agropecuária.** Disponível na Internet. <http://www.agrosoft.com/ag95/papers/doc47.htm>. 11/3/98.

Anexo A - Tutorial do Sistema

Rode o KAPPA-PC, entre em “File” e execute o programa ‘AGOSTINI.KAL’.

Inicie maximizando a tela inicial (fig.6) e escolhendo a opção de uso preferencial do produtor rural para a gleba avaliada. Se a tela inicial não estiver aparecendo, clique em “Session” e escolha a seguir a tela ‘Intro’. Após escolhida a opção aparecerá um ‘OK’ no quadro ao lado. Clique a seguir no botão ‘Iniciar’. Ao término da consulta clique no botão ‘Limpar’.

Figura 6: Tela Inicial (Intro) do aplicativo



Você pode fazer a consulta manualmente clicando no botão 'Iniciar Manualmente'. Neste caso, aparecerá o quadro de registro da 'situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo' (fig.7). Se você tiver entrado com a opção de uso preferencial errada, é possível retornar ao quadro inicial: clique no botão 'Sair'.

Figura 7: Quadro de registro da 'situação atual de manejo para definição do custo entrópico do processo produtivo'

32 % Free

SESSION

Align Image Edit Control Options Window Select

Help

Definição do Custo Entrópico do Processo Produtivo

MANEJO DO MEIO

	Dado	Entr.	Resultado				
Mecanização	?			SE	?	>	L
Cobertura Vegetal	Presença	?		SE	?	>	L
	Diversidade	?		SE	?	>	L
Controle do Escoamento	?			SE	?	>	L

MANEJO DE INSUMOS

	Dado	Entr.	Resultado				
Sementes e Fertilizantes	?			SE	?	>	L
Agrotóxicos	Quantidade	?		SE	?	>	L
	Manipulação	?		SE	?	>	L
Potencial de Poluição das Águas	?			SE	?	>	L

Sair

Custo Entrópico Médio

LIMPA QUADRO

Preencha os campos vazios com a ajuda do sistema especialista (botão 'SE') ou entre com o valor diretamente (botão '>'). Você pode corrigir o dado entrado, mas antes deve limpar o conteúdo dos campos da opção (botão 'L'). Também é possível pedir ao sistema que explique a razão do valor entrado (botão '?'). Ele responderá indicando o nome da regra que foi disparada pela máquina de inferência. Ainda há o botão 'Limpa Quadro', que limpa todos os campos do quadro.

Quando o quadro estiver devidamente preenchido clique no botão 'Custo Entrópico Médio'. O custo entrópico médio do processo produtivo será calculado e o quadro de registro da 'situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio' será mostrado (fig. 8). Note que na parte inferior da tela o

peso dos três critérios considerados por D'Agostini & Schlindwein (1997) é mostrado.

Figura 8: Quadro de registro da 'situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio'

31 % Free QUADRO1MANUAL ▼ ↕

Align Image Edit Control Options Window Select Help

Definição dos Atributos Indicadores do Meio

ATRIBUTOS INDICADORES DO MEIO			
	Dado	Valor	Resultado
Cálcio + Magnésio	?		
Porcentagem de Argila	?		
Fósforo Extraível			
Horizonte Superficial	?		
Pedregosidade	?		
Declividade [%]	?		
Drenagem	?		
Profundidade [m]	?		

SE ? > L

SE ? > L

SE ? > L

SE ? > L

SE ? > L

SE ? > L

SE ? > L

SE ? > L

Calcular Classe e Categoria

LIMPA QUADRO

Sair

Definição das Categorias

Peso do Critério Conservacionista ☐

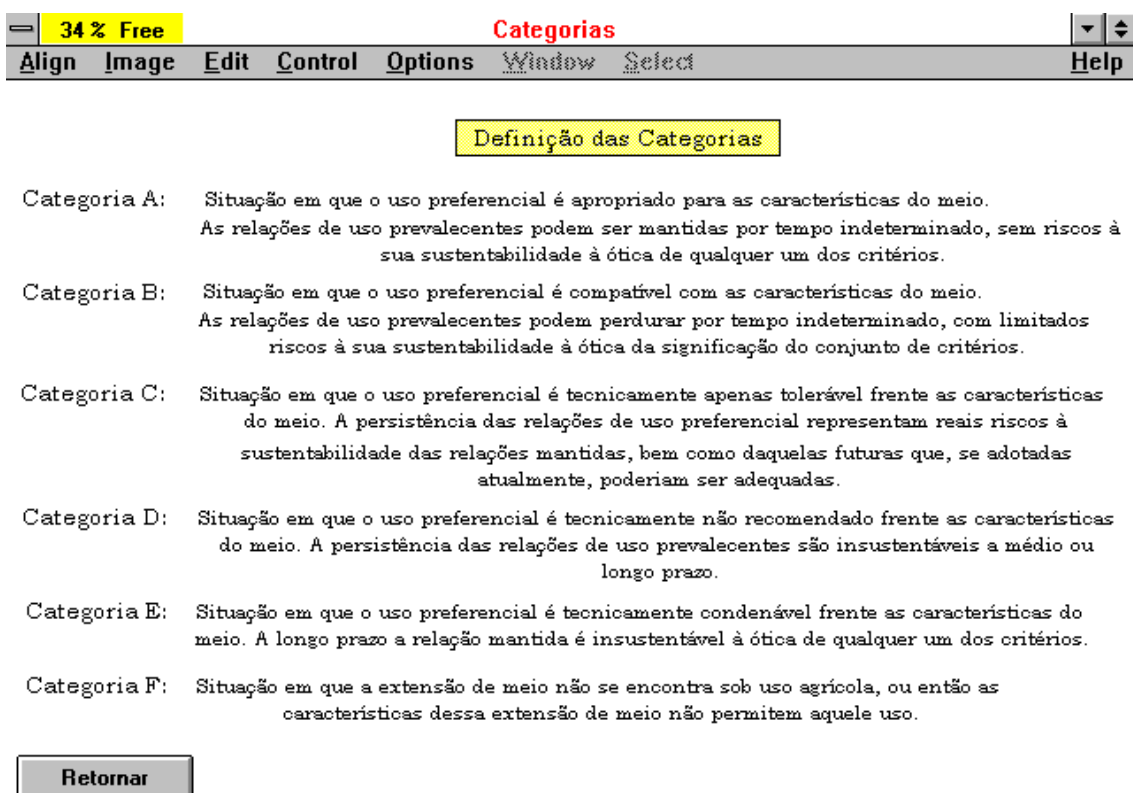
Peso do Critério Operacionalidade das Atividades ☐

Peso do Critério Edofo-Econômico ☐

Preencha o quadro da mesma forma que no quadro anterior. Há duas opções que apresentam somente dois botões ('>' e 'L'). Estas opções (declividade e profundidade) consistem da entrada de valores numéricos. Após preencher todo o quadro, clique no botão 'Calcular Classe e Categoria' para calcular a classe e a categoria da gleba avaliada.

É possível ver um texto explicativo das possíveis categorias clicando-se no botão 'Definição das Categorias' (fig. 9). Após terminar de ler o texto referente à categoria da gleba avaliada, retorne com o botão 'Retornar' ao quadro de registro da 'situação atual de uso preferencial e de atributos indicadores (características) do meio'. Para uma nova sessão no sistema clique no botão 'Sair' e você será conduzido à tela inicial novamente.

Figura 9: Textos explicativos para as categorias da relação de uso



Finalmente, para sair do sistema, no canto superior esquerdo da tela dentro do quadro KAPPA-PC clique em "File" e a seguir em "Exit". Se este quadro não estiver aparecendo, minimize a tela que estiver ativa e ele se tornará visível.